

放射光 X 線回折を用いた 反強磁性ドメイン観察のための新手法の開発

関西学院大学大学院理工学研究科

物理学専攻 水木研究室 川瀬里美

物性研究のみならずドメイン制御を必要とする応用の観点からも、磁気ドメインの分布を明らかにすることは必須である。応用上重要な強磁性体のドメイン観察は磁気力顕微鏡 (MFM) や磁気光学カー効果顕微鏡といった手法によって可能になっている。一方、反強磁性体は強磁性体よりも多様なスピン配列を取りうるため、基礎物性の立場からも議論の対象になる物質は多い。しかし反強磁性体は全体として磁化を持たないため、既存の磁気ドメイン観察法は適用できない。最近、X 線磁気散乱によって反強磁性ドメイン観察が可能であることが $\text{Cd}_2\text{Os}_2\text{O}_7$ で示され [1]、磁壁の電気伝導性への関心とも相まって期待を集めている [2]。しかし X 線磁気散乱は、強度が電荷散乱に比べ 10^{-6} 程度しかなく、電荷散乱がない禁制反射位置でしか観測できない。そのため、X 線磁気回折を用いた反強磁性ドメインの観察手法が適用できるのは、螺旋軸または映進面といった対称性をもつ結晶構造の物質に限られていた。本研究ではこの制限を取り払い、許容反射位置での反強磁性ドメイン観察を可能とする手法の開発を行った。

磁性体からの散乱には、電荷散乱と磁気散乱があり、互いに干渉もする。干渉波の振幅は、純磁気散乱に比べ桁違いに (10^3 倍程度) 大きくなる。電荷散乱は円偏光に依存しないが、磁気散乱は左右円偏光に対して振幅の符号が逆になるため、干渉波の振幅も左右円偏光により符号が逆になる。これを利用すれば、右 (左) 円偏光時の散乱強度を $I_R(I_L)$ とし、反転比 $FR = (I_R - I_L)/(I_R + I_L)$ を測定することによって、干渉の効果のみを抽出することができる。

許容反射位置において干渉の効果のみを抽出することは、円偏光を周期的に振動させ、散乱強度の中から同調成分を位相敏感検出することにより可能となる。しかし、移相子に対する X 線入射角度の変動が存在すると、右円偏光時と左円偏光時に残存している直線偏光成分が異なる大きさとなる。その結果、直線偏光度に依存する電荷散乱の相殺が不完全となり、反転比に干渉の効果以外の信号が乗ってしまう。電荷散乱強度は干渉の効果の約 1000 倍の大きさであるため、電荷散乱が確実に相殺されていないと干渉の効果を検出することは困難である。この困難を解決するために、移相子のフィードバック制御システムが開発されたが [3]、これを長時間安定的に利用するには、入射 X 線強度の変動を入射 X 線角度の変動として誤認してしまう問題の解決が必要であった。本研究では、入射 X 線の強度変動の影響を受けないよう移相子角度のフィードバック制御を高度化し、改良した測定システムの評価を行った。

改良した測定システムを用いて、SPring-8 BL19LXU において反強磁性体 $\text{Cd}_2\text{Os}_2\text{O}_7$ の 333 許容反射の反転比を測定することにより磁気イメージングを行った。その結果、 10^{-4} オーダーの反転比を検出することができ、 $\text{Cd}_2\text{Os}_2\text{O}_7$ の反強磁性ドメイン観察が可能な精度 (反転比の標準偏差が 10^{-3} 程度) を達成した。入射光強度変動の影響を受けないフィードバック制御を組み込んだシステムが完成し、X 線回折による反強磁性ドメインの走査顕微測定が可能となった。

[1] S. Tardif, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **114** (2015) 147205.

[2] T. Arima, J. Phys. Soc. Jpn. **82** (2013) 013705.

[3] 森田健士. 関西学院大学. 修士論文 (2009).